



TITLE:

HYDRAULIC ANALYSIS OF TRANSIENT
FLOWS WITH INTERFACE BETWEEN
PRESSURIZED AND FREE SURFACE FLOWS
AND ITS APPLICATIONS(Abstract_要旨)

AUTHOR(S):

Hamid, Bashiri Atrabi

CITATION:

Hamid, Bashiri Atrabi. HYDRAULIC ANALYSIS OF TRANSIENT FLOWS WITH INTERFACE BETWEEN PRESSURIZED AND FREE SURFACE FLOWS AND ITS APPLICATIONS. 京都大学, 2015, 博士(工学)

ISSUE DATE:

2015-09-24

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k19288>

RIGHT:

京都大学	博士（ 工学 ）	氏名	HAMID BASHIRI ATRABI
論文題目	HYDRAULIC ANALYSIS OF TRANSIENT FLOWS WITH INTERFACE BETWEEN PRESSURIZED AND FREE SURFACE FLOWS AND ITS APPLICATIONS （圧力流れと自由表面流れの境界面を有する過渡現象の水理解析法とその応用）		
（論文内容の要旨） 下水道網，地下河川，発電所取放水路等の地下水路系，平面的広がりを持つ地下空間において，水の急激な流入や流量の時間的変化によって自由表面流れから圧力流れへ，またはその逆の遷移が生じるとともに，両者が混在した非定常流が発生することが知られている．本論文は，このような時間的変化が急な過渡水理現象の基本的な特性を解明するとともに水深積分型の水理解析モデルを提案し，その検証を行ったもので，7章からなっている． 第1章は序論であり，本研究課題を取り上げた動機と研究の目的，ならびに論文の構成について記述している． 第2章では，本論文全体に関係する基本的な現象として，水で満たされた長方形断面管路の下流端を開放することによって生じる空気泡の浸入を伴う過渡水理現象を取り上げ，空気泡の浸入過程を適切に再現できる流れの水深積分モデルとその数値解析法について検討した．すなわち，圧力流れの領域には圧力の収束計算を伴う非圧縮性流体の解析法，自由水面流れの領域には開水路流れの解析法を適用し，それらの境界面では境界セルで運動量方程式を積分して得られる離散式を用いて，境界位置を追跡しながら流れ全体を解析する手法を適用している．水深積分型の運動量方程式として鉛直加速度項のすべてを考慮したブシネスク方程式を用い，数値解析モデルに含まれるパラメータの設定法や空気泡先端速度と先端近傍の圧力低下の関係式を組み込んだ計算法を提案した．空気泡形状や先端の伝播速度等の解析結果を従来の理論的研究や水平および傾斜管路を用いた実験結果と比較し，両者がほぼ一致することを示した．また，先端近傍の空気泡形状の解析結果はブシネスク方程式の理論解の一つである孤立波解でよく近似できることを示した．さらに，流れの下流側水深が大きく先端を追いかける波状段波が発生する場合には，ブシネスク方程式の鉛直加速度項に段波フロント部で生じる碎波の影響を考慮するための減衰関数を乗じることが有効であることを指摘した． 傾斜した管路の場合，下流端水深の増加に伴い空気泡が管路内に閉じ込められた状態で管路上方へ移動することが知られている．そこで第3章では，閉じ込められた空気泡に等エントロピー変化を仮定した体積と圧力の関係式を用いて空気泡内の圧力変化を評価し，空気圧変化が水流の水面に及ぼす影響を運動量方程式中の空気・水流間の相互作用項として考慮する数値解析法を提案した．解析結果を考察することで，空気泡の微小な体積変化が大きな空気圧変化を引き起こすことを示し，実験結果の空気泡体積を精度よく再現するためには空気泡内圧力変化を考慮する必要があることを示した． 第4章では，円形断面管路における空気泡の浸入現象を考察している．円形断面に適用できるブシネスク方程式は，導出の煩雑さのためこれまでに水深が半径より小さい場合に対してのみ導かれている．そこで本研究では，水深が半径より大きい場合の流れに対して，流れを水面幅の内と外に分けて鉛直加速度効果を考慮した圧力分布式を導出した後に圧力の断面積分を行うことで，全水深に適用できる円管路のブシネスク方程式を導出した．さらに，本研究で行われた水平，傾斜円管路を用いた実験条件の下で，新たに導かれたブシネスク方程式に第2章と同様の数値解析法を適用して実験の再現解析を行った．その結果，先端速度と先端近傍の圧力低下を関係付ける計算式中のパラメータを適切に設定することで，空気泡形状，先端を追いかける後続の波状段波形状ともに実験結果とほぼ適合した解析結果を得ることができることを示した． 第5章では，第2章および次の第6章で考察した空気泡の1次元，平面2次元の浸入を伴う流れに対して，水と空気を混合流体として取り扱う密度関数法にVOF法を組み合わせ			

京都大学	博士（工学）	氏名	HAMID BASHIRI ATRABI
<p>せた数値解析法を用いて流れの3次元解析を行った。その結果、第2章で考察した1次元的な空気泡の浸入に関しては、下流側で波状段波が発生する場合としない場合共に、実験結果をほぼ良好に再現しており、段波フロント部の部分的碎波もある程度再現できていることから、3次元数値解析によって得られた流れ場の詳細な情報が今後の水深積分モデルの改良に有効であることを指摘した。</p> <p>平行平板間の隙間の正方形領域上に水を満たして仕切り板を急に取り除くことで、圧力流れの領域が平面2次元的に時間変化するダム破壊流れを発生させることができる。第6章では、このような圧力流れと自由水面流れの境界線が2次元的に伝播する非定常流への数値解析モデルの拡張を検討した。基本的には第2章で用いた方法を平面2次元場に拡張した数値解析法を用いているが、境界線の2次元的な伝播過程に関して実験結果と適合する解析結果を得るために、境界線近傍の圧力低下を評価する平面2次元的な計算法を提案した。境界線からドライベッド上の流れの先端までの水深分布形に関する解析結果は実験結果と概ね適合しているものの、境界線近傍の水深分布形の再現性が十分ではないため、第5章で示した3次元数値解析法により得られた解析結果を援用してモデルの改良を行う必要性も指摘している。</p> <p>第7章は結論であり、本論文で得られた成果について要約している。</p>			

(論文審査の結果の要旨)

下水道網，地下河川等の地下水路系や平面的広がりを持つ地下空間等では，水の急激な流入や流量の時間的変化によって自由表面流れと圧力流れの両者が混在した非定常流が発生する．本論文は，このような圧力流れ・自由表面流れの境界面を伴う過渡水理現象の基本的な特性を解明するとともに，現象を再現できる水深積分型の水理解析モデルを提案し，その検証を行ったもので，7章からなっている．

1．本研究に係わる基本的な現象として水で満たされた長方形断面管路の下流端を開放することによって生じる過渡水理現象を取り上げ，空気泡の浸入過程を適切に再現できる流れの水深積分モデルとその数値解析法について考察した．水深積分型の運動量方程式として鉛直加速度項をすべて考慮したブシネスク方程式を適用し，数値解析モデルに含まれるパラメータの設定法や空気泡先端速度と先端近傍の圧力低下の評価法を提案するとともに，空気泡形状や先端の伝播速度等の解析結果が実験結果と概ね適合することを検証した．また，空気泡形状の解析結果はブシネスク方程式の理論解の一つである孤立波解でよく近似できることを示した．

2．傾斜した管路の場合，下流端水深の増加に伴い空気泡が管路内に閉じ込められた状態で管路上方へ移動することが知られている．そこで，提案した数値解析モデルの中に等エントロピー変化を仮定した空気泡の体積と圧力の関係式を考慮し，空気泡内の圧力変化が水流の水面に及ぼす影響を運動量方程式中の空気・水流間の相互作用項として考慮した．数値解析結果を検討することで，空気泡の微小な体積変化が大きな空気圧変化を引き起こすことを示し，実験結果の空気泡体積を精度よく再現するためには空気泡内圧力変化を考慮する必要があることを示した．

3．円形断面管路における空気泡の浸入現象に適用可能なブシネスク方程式を導出した．水深が半径より大きい場合の流れに対して，流れを水面幅の内と外に分けて鉛直加速度効果を考慮した圧力分布式を導出した後，圧力の断面積分を行う方法を用いて円管路のブシネスク方程式を導出した．本研究で行われた水平，傾斜円管路を用いた実験結果に対して新たに導かれたブシネスク方程式を適用した数値解析を行い，解析結果と実験結果を比較・検討した．その結果，先端速度と先端近傍の圧力低下を関係付ける計算式中のパラメータを適切に設定することで，空気泡形状，先端を追いかける後続の波状段波形状ともに実験結果とほぼ適合した解析結果を得ることができることを示した．

4．平行平板間の隙間の正方形領域上に水を満たして仕切り板を急に取り除くことで，圧力流れの領域が平面2次元的に時間変化するダム破壊流れを発生させることができる．このような圧力・自由水面流れの境界線が2次元的に伝播する非定常流への数値解析モデルの拡張を検討した．1次元解析に用いた方法を平面2次元場に拡張した数値解析法を用いて，実験結果と概ね適合する数値解析結果を得ることができることを検証した．その際，境界線近傍の圧力低下を評価する2次元的な計算法を提案した．ただし，境界線近傍の分布形の再現性が十分でないことを示し，本研究で行われた3次元数値解析結果を援用して水深積分モデルを改良する必要があることを指摘した．

以上本論文は，圧力流れ・自由表面流れの境界面が移動する過渡水理現象を再現・予測できる水深積分型の水理解析モデルを提案しその検証を行ったもので学術上，實際上寄与するところが少なくない．よって，本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める．また，平成27年8月21日，論文内容とそれに関連した事項について試問を行って，申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し合格と認めた．